

## Monte Carlo modellezések

### 1. Neutronter Monte Carlo modellezése:

A neutron tér Monte Carlo modellezésekor mindig egy véges méretű tartományt kell definiálni. Esetünkben ez egy henger alakú, 1 m átmérőjű, 2,3 m magasságú tértartomány, amelynek tengelyében van a forrás és a detektor. A számításokat az MCNP 4C kóddal végeztük, a hatáskeresztmetszet adatokat az ENDF4 könyvtárból vettük. A neutronter modellezéséhez a gyakorlatban alkalmazott Am–Be forrást választottuk, mely 4 cm hosszú hengeres tokban van. Ezt egy olyan idealizált pontszerű forrással helyettesítettük, amely a 4 cm hosszú hengeres tok középpontjában helyezkedik el, és az általa kibocsátott neutronok térbeli eloszlása egyenletes. A henger alakú detektor ugyancsak a gyakorlatban használatos szondák  $\text{He}^3$  detektora, amelyről feltételeztük, hogy neutronfluxus érzékenysége a detektor térfogatában egyenletes. Termikus neutronokat számláltunk 0 és 0,1 eV energia tartományon. A penetrációs környezet modellezésének lényegi része az acél penetrációs rudazat, ennek adatait a valóságos méretek alapján választottuk: belső átmérője 3 cm, külső átmérője 4,4 cm.

A közeg homok ( $\text{SiO}_2$ ) és édesvíz keveréke. A vizsgált porozitás értékek  $\Phi=0,02; 0,05; 0,10; 0,14; 0,18; 0,22; 0,27; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45$  és  $0,50$ .  $L=0, 5, 10, 15, 20, 25$  és  $30$  cm szondahossz értékekre végeztünk számításokat. Az  $L$  szondahosszt a forrás és a detektor alsó síkja közötti távolsággal definiáltuk.

A Monte Carlo modellezések során arra törekedtünk, hogy a detektor által „mért” fluxus pontossága 1 százalék alatt legyen. Ehhez 2 millió – 10 millió neutron útját kellett végigkövetni. A szükséges számítási idő egy modellezés esetén a neutron számtól függően 10 – 40 perc volt.

A modellezések eredményei:

Neutron fluxus – porozitás kalibrációs görbéket határoztunk meg különböző szondahosszak esetére. Azt tapasztaltuk, hogy kis szondahosszaknál a fluxus a porozitással nő,  $L=20\text{--}25$  cm körül érzéketlen a porozitásra (inverziós szondahossz), majd ennél nagyobb porozitás esetén a fluxus csökken a porozitással. Ez az eredmény a diffúziós közelítés elméleti eredményeivel és a gyakorlati tapasztalatokkal összhangban van. Mérnökgeofizikai szondázásoknál nincs különösebb fontossága a mély vizsgálati sugárnak, közeli detektor esetében viszont a hozam sokkal nagyobb. Megvizsgáltuk a rudazat vastagságának hatását, 0,1 cm vastagság növekedés a neutron porozításban 7-8 százalékos csökkenést jelent. Modelleztük a látszólagos neutron porozitás görbe viselkedését réteghatár közelében és beágyazott réteggel szemben. A görbék egyenletes lefutásúak, 30 cm vastag beágyazás esetén a látszólagos neutron porozitás 15% eltéréssel megközelíti a valódi értéket. A réteghatár közeli átmeneti zónák kb. 20 cm hosszúak, ami a detektor vertikális mérete. Megvizsgáltuk a közeg inhomogenitásának hatását: 18 hengergyűrű térfogatot jelöltünk ki a szonda közeli környezetében, amelyekhez véletlen porozitás értékeket rendeltünk. A normális eloszlású véletlen porozitás adatok várható értéke 0,3 volt, a szórása pedig 0,03. A véletlen modellezést sokszor lejátszottuk, a tapasztalat szerint a szonda által észlelt neutron porozitás igen jó közelítéssel reprodukálta a 0,3 várható értéket, a szórás pedig kisebb volt, mint 0,03. Legfontosabb eredménynek a kalibrációs görbe létrehozását tekintjük.

### 2. Gamma sugárzási tér Monte Carlo modellezése:

A sugárforrás itt  $\text{Cs}^{137}$  izotóp volt, ennek maximális energiája 662 keV. Detektorként NaI szcintillációs detektort modelleztünk. A közeg sűrűségére való érzékenység miatt a figyelembe vett reakció a Compton szórás, így a gamma foton energia ablakot 50 keV és 150 keV közé választottuk. A modellnek itt is része az acél penetrációs rudazat, ezen kívül még a

forrás és detektor között a detektor irányába induló gamma fotonokat elnyelő ólom árnyékolás hatását is figyelembe kellett venni.

A közeg itt is homok és édesvíz keveréke, a sűrűség adatok megadásához a neutronmodellezéseknél definiált porozitás értékeket vettük figyelembe. Általában 20 millió – 40 millió gamma foton útját kellett végigkövetni ahhoz, hogy a pontosság 1 százalék körüli érték legyen. A számítási idő egy modellezés esetén 20 –50 perc volt.

A modellezések eredményei:

Sűrűség – sugárzás intenzitás kalibrációs görbéket számítottunk, vizsgáltuk a látszólagos sűrűség görbe viselkedését réteghatár közelében és vékony beágyazott réteg esetén. A réteghatár közeli átmeneti zónák nagysága kisebb a forrás – detektor távolságnál, de nagyobb a detektor méreténél. A penetrációs rudazat vastagságára a gammasugárzási tér érzékeny, 0,1 cm vastagság növekedés 17–20 százalékos látszólagos sűrűség növekedést okoz.

A Monte Carlo modellezések eredményei felhasználhatók valódi mért szelvények görbéinek elemzésére, valós kalibrációs tartályokra vonatkozó elméleti feladatok megoldására, így valóságos szondák neutron porozitásra, illetve sűrűségre, történő hitelesítésére. A kidolgozott flexibilis eljárásokkal tetszőleges szonda elrendezések, közegek és kalibrációs tartályok elméleti modellezése elvégezhető.

### **Penetrációs elektromos szonda elméleti modellezése**

A penetrációs elektromos szonda csak kismértékben hasonlít a karotázsban alkalmazott konvencionális elektromos szondákhoz, elektródái a köztük lévő távolságokhoz képest nagyméretűek, gyűrű alakúak, valamint közelükben van a fém rudazat és a penetrációs kúp. A feladat a szonda környezetében az elektromos tér meghatározása különböző fajlagos ellenállású és geometriájú közegek esetére abból a célból, hogy valóságos környezet fajlagos ellenállását meghatározhassuk.

A feladatot analitikus megoldási módszerrel és véges elemes numerikus módszerrel is vizsgáltuk. Az analitikus megoldás alapja a DeWitte-féle, szigetelő hengeren elhelyezett végtelen vékony gyűrű elektródák terére vonatkozó megoldás, amelyet továbbfejlesztve véges méretű gyűrű elektródák és a fém rudazat hatását is figyelembe vevő megoldásra jutottunk homogén végtelen közeg modellben. Az analitikus megoldást jelenleg is még tovább fejlesztjük, hogy tetszőleges folytonos radiális inhomogenitás profilt is beépíthessünk a modellbe.

Numerikus modellezéshez a Geofizikai Tanszék által beszerzett véges elemes megoldási módszert alkalmazó COMSOL Multiphysics programcsomagot használtuk. A Monte Carlo modellezéshez hasonlóan itt is definiálni kell egy véges méretű térfogatot, annak határfelületén meg kell adni a potenciált. A közegmodell 1m sugarú, 4 m magas henger volt. A szonda a térfogat tengelyében helyezkedik el. A szonda COMSOL modellje nagy pontossággal közelíti a valóságos szondát. A probléma hengerszimmetrikus tulajdonsága miatt kétdimenziós modellt is lehet alkalmazni, ami a háromdimenziós közelítéshez képest sokkal finomabb felosztást enged meg, és a számítási idő is nagymértékben csökken. A számítások eredményei a potenciáltérkép és áramvonalkép a közegben és a szondában.

Analitikus és numerikus számításaink során különböző fajlagos ellenállású, homogén és inhomogén (rétegzett) közegeket vizsgáltunk. Meghatároztuk a szonda koefficiensét (ami az eddig alkalmazott értékek mintegy másfélszerese). Látszólagos fajlagos ellenállás görbéket szimuláltunk réteghatár környezetében és vékony réteggel szemben. Pszeudogeometriai tényező függvényét számítottunk, amivel jellemezhető a szonda laterális vizsgálati mélysége.

### **Minőségellenőrzött algoritmusok alkalmazása penetrációs mérések inverziójában**

A penetrációs szelvények kiértékelésében — hasonlóan a karotázs kiértékeléshez — alapvető probléma a mért bemenő szelvények minősítése. A probléma megegyezik az egyesített inverzió problémájával, vagyis különböző fizikai elveken alapuló mérési módszerek esetében hogyan kell előállítani az egyesített célfüggvényt az egyes módszerek célfüggvényeiből. A problémát minőségi kiértékelés (litológiai osztályba sorolás) esetére és kvantitatív kiértékelés esetére is vizsgáltuk. A módszer lényege, hogy nagyszámú mért adat alapján feltárásból, laborelemzésekből, vagy más geofizikai mérésből megismert objektumok esetén az egyes módszerekhez tartozó szórás adatokat (relatív súlyokat) úgy választjuk meg, hogy a már ismert közeg paramétereit állítsa elő az inverzió. Ezenkívül az eredmények ellentmondás mentessége, a mért–elméleti szelvénypárok egyenletes „közelsége” is minősíti a szórások helyes vagy hibás megválasztását. Az így meghatározott szórás adatokat első közelítésben az adott módszerre, és az inverzió közegmodelljére jellemzőnek tekintjük. Ilyen módon meghatározott szórás adatokkal végeztünk kiértékeléseket mért penetrációs szelvényeken. A vizsgálatok bebizonyították, hogy a módszer használható, reális, ellentmondásmentes és egyéb területi ismeretekkel konzisztens eredményeket ad. Egy másik megközelítés a szelvények közötti súlyozás problémájának megoldására a maximum likelihood becslési módszer általánosítása. A módszer lényege, hogy a mért adatok bekövetkezési valószínűségének maximalizálását nemcsak a modellparaméterek szerint, hanem az ismeretlen szórásadatok szerint is végre kell hajtani. A módszert kipróbáltuk szimulált mérési adatokon és valós mérési adatokon. Ennek a módszernek a jelentősége túlmutat a penetrációs szelvények inverzióján, különféle felszíni kutatómódszerek eredményeinek együttes inverziójában is alkalmazható.